

大陸斜面域における底魚類の生物生産構造に関する研究

著者	藤原 邦浩
号	794
発行年	2004
URL	http://hdl.handle.net/10097/15967

氏 名(本籍)	ふじ 藤	わら 原	くに 邦	ひろ 浩
学 位 の 種 類	博 士 (農 学)			
学 位 記 番 号	農 博 第 7 9 4 号			
学位授与年月日	平 成 17 年 3 月 25 日			
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当			
研 究 科 専 攻	農学研究科資源生物科学専攻 (博士課程)			
学 位 論 文 題 目	大陸斜面域における底魚類の生物生産構造に関する研究			
論文審査委員	(主 査)	教 授	大 森 迪 夫	
	(副 査)	教 授	谷 口 旭	
		教 授	谷 口 順 彦	

論文内容要旨

序論

東日本太平洋岸の大陸棚から大陸斜面中部（水深150–1000m）の底魚群集についての過去の報告はいずれも、ある特定の季節、ある特定の限られた水域、あるいは非グリッド状で空間的配置に偏りのある定点での調査に基づいていた。従って、底魚群集の構成、それらの配置と特色、そしてその季節的な変化を、東日本太平洋岸の全域において包括的に解明した報告はない。

東日本太平洋岸の大陸斜面上部の底魚にとって、ツノナシオキアミやハダカイワシ類のような日周鉛直移動をする生物が重要な食物となっており（Yamamura and Inada 2001）、底魚類はこれらの食物生物を介して表中層の生産系と機能的に結びついていると考えられる。従って、表中層の生産系と直接結びついた底魚の生産構造は、表中層の物理的要因と関連を有していると思われる。

近年、海洋生物の体組織の同位体組成（ ^{13}C , ^{15}N 濃度）を用いて、食物連鎖構造を解析することの有用性が認識されるようになってきた。海洋生態系のように複雑に絡み合った食物網を、食起源と栄養段階という二次元に要約するこの手法では、従来行われてきた胃内容物の観察ではわかりにくかった海洋生物の摂食生態や食物連鎖の群集間の違いを比較的明快に導き出す（南川 1997）。また、一定の仮定の下ではあるが、それぞれの食物生物の底魚類の生産に対する寄与率を求めることも可能となった。

本研究では、東日本太平洋岸大陸斜面の底魚群集の配置と構造の特色、および季節変動を海洋環境の時空間的変動と対応させながら明らかにして、さらにそれらの群集における食物連鎖構造の特色を、安定同位体比を用いて解析し、表中層および底層の生産系との関係を明らかにすることを目的とした。また、海洋構造が異なり、三陸・常磐より表中層の生産力が低い日本海の若狭湾についても同様な調査・解析を行い、東日本太平洋岸と比較・対比することにより、海洋条件の違いと底魚の群集構造や食物連鎖構造との関わりについて考察する。最後に、安定同位体比を用いて各食物生物の底魚類の生産に対する寄与率を試算した。

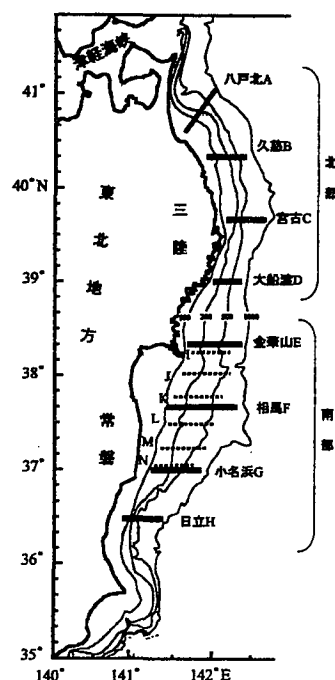


図1 調査海域図
実線(A-H)は1999～2002年の10月と2001～2002年の4月の調査ラインであり、破線(I-N)は2000年4月の調査ラインである。

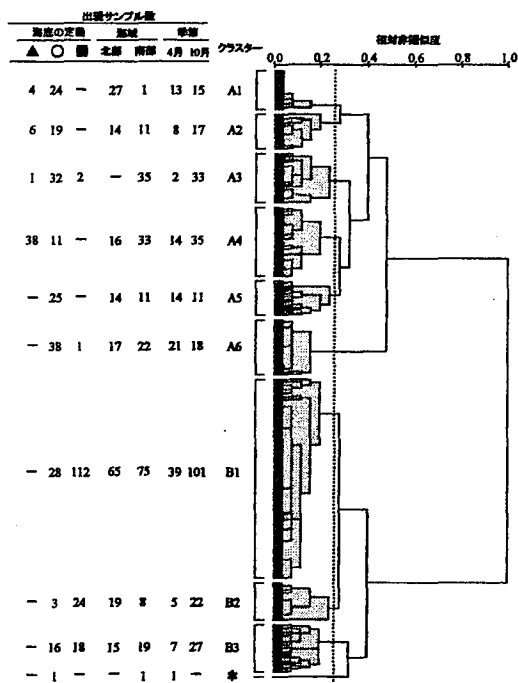


図2 個体数を基にした調査点間の種組成の類似度 $C\pi$ を用いたクラスター分析の結果と各クラスター内に属する調査点のカテゴリごとの出現サンプル数
 ▲:大陸棚(100m以深、200m未満), ○:大陸斜面上部(水深200m以深、500m未満), ■:大陸斜面中部(水深500m以深) 北部=A-Dライン(大船渡以北), 南部=E-HとI-Nライン(金華山以南)

第I章 東日本太平洋岸の底魚群集と海洋構造

I-1. 材料と方法

1999年10月～2002年10月の秋季(10月)、春季(4月)に、青森から茨城までの水深150～900mの大陸棚縁辺から大陸斜面中部において、等緯度、等深度に配置された定点(図1)で着底トロール調査(計403曳網)を行った。その採集結果を用いて群集解析を行った。まず、個体数データを基にしたクラスター分析を行い、各クラスターの個体数および、重量種組成の特色から群集の区分を行った。さらに、便宜的に分けた北部と南部のそれぞれの海域ごとに、個体数密度、種数 S 、均衡度指数 J' 、多様度指数 H' の水深に伴う変化を明らかにし、群集の水深による変化との関係を解析した。

各調査点において、CTDによる海洋観測を行った。そして、水深による底層水温の、季節あるいは年による変動の大きさがどのように変わるかを解析した。また、表層水深100m層の等温線図と、底層の親潮-黒潮混合比(Shimizu et al. 2001)の等値線図を求め、調査海域の海洋構造を解析した。

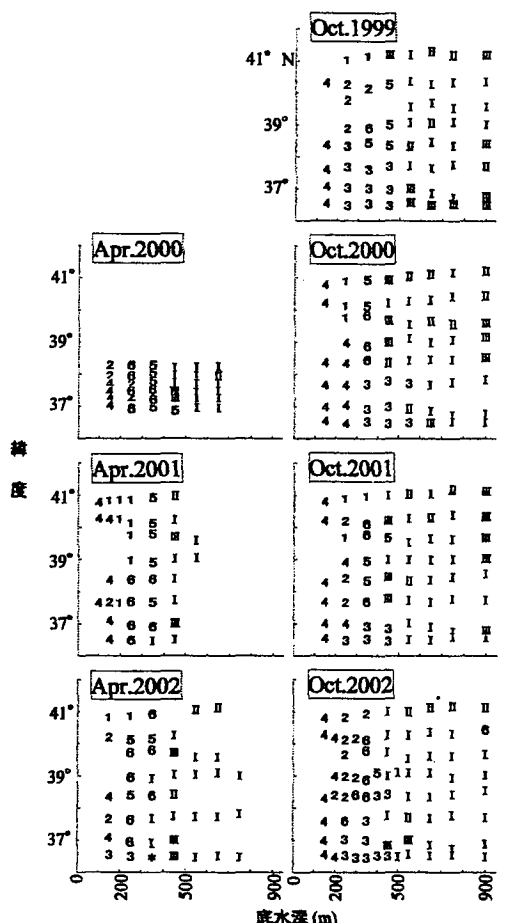


図3 クラスター分析で検出された9つのクラスターの地理的分布および群集区分

1, 2, 6:大陸斜面上部亜寒帯系群集(クラスターA1,A2,A6)、3:大陸斜面上部亜熱帯系群集(クラスターA3)、4:大陸棚縁辺部群集(クラスターA4)、I, II:大陸斜面中部群集(クラスターB1, B2)、5:クラスターA5、III:クラスターB3、*:クラスターに属さない調査点

I-2. 結果

個体数種組成を基にクラスター分析した結果(図2)、9つのクラスターが識別されたが、それらのクラスターの出現定点をみると、鉛直的には、大陸棚～大陸斜面上部(A)に出現するものと、大陸斜面中部(B)に出現するものに分かれた。各クラスターの個体数種組成と重量種組成の特色を考慮に入れて群集を区分すると次のようになる。

すなわち、亜寒帯種のスケトウダラ、マダラ、トドハダカが多く優占する大陸斜面上部亜寒帯系群集(A1, A2, A6 クラスター)、亜熱帯種のテナガダラ、フジクジラ、ハダカイワシが優占する大陸斜面上部亜熱帯系群集(A3)、大陸棚に多く生息する種が優占する大陸棚縁辺部群集(A4)、イラコアナゴ、ネズミギンポ、イトヒキダラ、マメハダカが優占する大陸斜面中部群集(B1, B2)である。

各クラスターの地理的分布(図3)をみると、上記群集がおおよそ水深200m、500m付近を境に、大陸棚、大陸斜面上部、大陸斜面中部といった水深帯ごとに配置されていることがわかった。斜面上部亜寒帯系群集は、秋季は水深200m以深に多く出現するが、春季には大陸棚上にまで侵入している様子が一部の海域でみられた。斜面上部亜熱帯系群集は主に秋季に南部海域に出現した。

底層水温の水深に沿った変化(図4)をみると、大陸棚上は、平均値

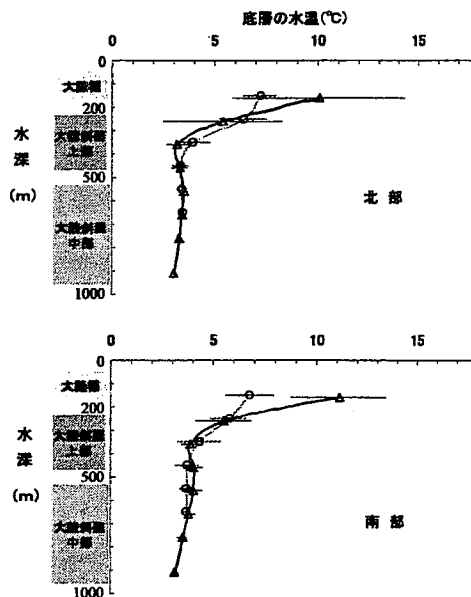


図4 底層の水温の各水深の平均(±標準偏差(年変動幅を示す))
—△—(実線)は10月、—○—(破線)は4月

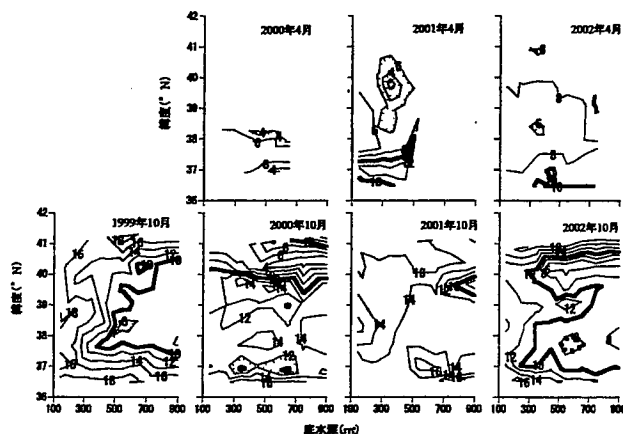


図5 表層水深100mの等温線図
水温10℃以上:黒潮系暖水、水温5℃以下:親潮系冷水

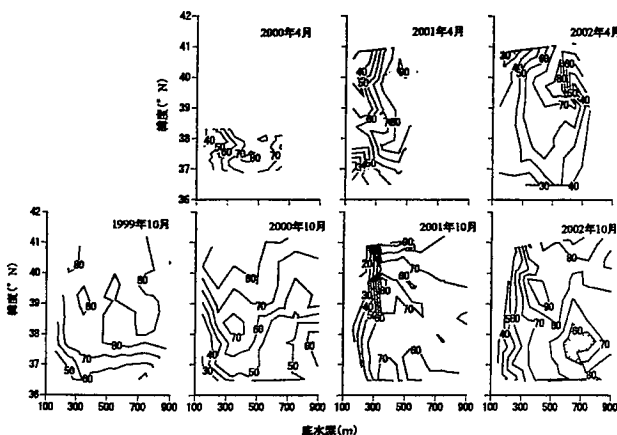


図6 斜面に沿った底層の混合比の等値線図
混合比50%以上:親潮優勢水、混合比50%以下:黒潮優勢水

で3-4℃の幅の季節変化がみられた。年変動幅（標準偏差）は特に秋に大きい。斜面中部の底層水温は、水深による変化は小さく、また、季節変化もほとんどなく、約3-4℃で非常に安定していた。大陸斜面上部は、斜面中部よりも年変動幅（標準偏差）がやや大きく、また水深に沿って、水温が大きく低下した。

表層の水塊分布（図5）は、秋季には、調査海域の南北、ほぼ全域において、黒潮系暖水が広がっていた。また、春季には、5-8℃の、親潮に影響された水塊が分布するという季節的な変化が見られた。一方、底層の水塊分布（図6）は、水深200mよりも浅い大陸棚を除けば、4月も10月もほぼ調査海域全域を親潮優勢水が覆っていた。

多様性の水深あるいは季節に沿った変化（図7）を見ると、水深200mと水深500mで、各指数が大きく変化した。

また、季節的には、北部の大陸棚では、春季は秋季よりも個体数密度が高く、H'やJ'は秋季よりも低かった。南部では、個体数密度や種数が春季よりも秋季に高かった。

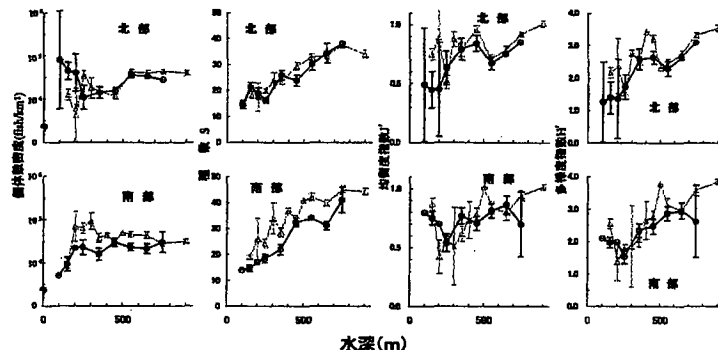


図7 調査点ごとの多様性の水深に伴う変化
1999年10月～2002年10月までの水深ごとの平均値(±標準偏差)
—△—...10月、—○—...4月

I-3. 考察

個体数に基づいたクラスター分析による群集解析により、大陸棚（水深200m以浅）、大陸斜面上部（水深200-500m）、さらに、大陸斜面中部（水深500m以深）の群集が北緯36度30分～41度10分までの広い範囲にわたって、季節、年を問わず存在することが示された。この帯状分布構造と対応するように、大陸棚から大陸斜面中部にかけて水温の時空間的安定性が変化していたと思われる。

大陸斜面上部では、亜熱帯系群集が秋季に調査海域南部に季節特異的に侵入することが示された。水温と共に親潮-黒潮混合比という新しい指標を用い、東日本太平洋岸大陸斜面域の海洋構造を三次元的に分析した結果、秋季では、表中層は黒潮系暖水、底層は親潮優勢水という二重構造がみられ、その構造は、春季にはみられないという鉛直的水塊分布の季節変化を鉛直的水塊分布の変化として、新たに捉えた。

今回、示された底魚類の群集構造とその季節変化は、多様性の水深に沿った変化と非常によく対応していた。このことは、深度に伴う環境勾配の厳しさと、それぞれの種が異なった水温レジームに適応していることを示唆している。

第Ⅱ章 斜面上部亜熱帯系群集の優占種テナガダラの来遊、逸出の過程

Ⅱ－１．材料と方法

大陸斜面上部の南部海域に秋季に出現する亜熱帯系群集の優占種テナガダラの海域別月別CPUE (kg/日)を示し、1999年10月に東北海域南部海域において採集された個体の年齢を調べ、1999年9月～2000年6月における採集個体の生殖腺指数GSIを調べた。さらに2002年10月には胃内容物の観察を行った。

Ⅱ－２．結果

テナガダラの海域別月別CPUE (kg/日) (図8) をみると、9月、10月、11月に漁獲量が多く、その他の月にはほとんど漁獲されていなかった。

年齢査定の結果、東北海域に出現する個体は、ほとんど、0+、1+、2+であった。生殖腺指数 GSI は周年、ほぼ1%以下であった。2002年10月において採集されたテナガダラの胃内容物出現頻度をみると、ツノナシオキミア (亜寒帯種) やキタノサクラエビ (亜寒帯種)、ハダカイワシ類が多く出現した。ハダカイワシ類のうち、多くはトドハダカ (亜寒帯種) であった。

Ⅱ－３．考察

南の海域に成魚の生育場と産卵場を有するテナガダラの若齢魚が、高い生産力を有している東北海域南部の底層の亜寒帯域を季節的に保育場として利用していることが示唆される。

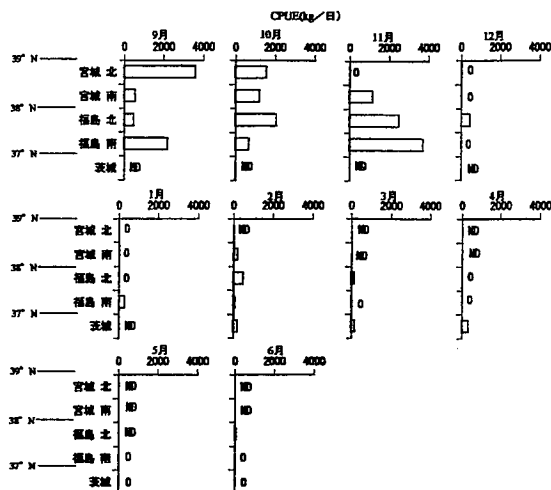


図8 月別海域別テナガダラの努力あたり漁獲量CPUE(kg/日)1999年9月から2000年6月までの沖合底曳網漁船2隻の操業記録をもとに集計した。7月、8月は禁漁期である。

第Ⅲ章 東日本太平洋岸の大陸斜面域の底魚類の食物連鎖構造の解析

Ⅲ－１．材料と方法

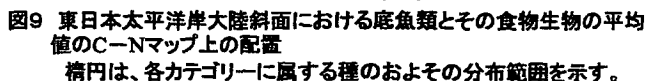
2002年10月に底魚群集の優占種の胃内容物を観察して、2001年10月および2002年10月に底魚類とその食物生物の炭素・窒素安定同位体比の解析を行った。

Ⅲ－２．結果

大陸斜面上部の優占種は、亜寒帯種も、亜熱帯種も、ツノナシオキミアミをはじめ、魚類、イカ類などマイクロネクトンを多く捕食していた。大陸斜面中部の優占種は、貝類などを捕食するネズミギンポ以外の種は、スベスベチヒロエビ、サクラエビ科の数種、魚類、

底魚類とその食物生物の炭素・窒素安定同位体比を図9に示す。底魚類の $\delta^{13}\text{C}$ はおよそ -20‰ ～ -15‰ であった。大陸斜面上部の優占底魚類の $\delta^{15}\text{N}$ よりも、大陸斜面中部の優占底魚類の $\delta^{15}\text{N}$ は高かった。

貝類や多毛類を多く捕食していたネズミギンポは、他のマイクロネクトン食者よりも $\delta^{13}\text{C}$ 値が高く、平均 $-16.00(\pm 0.35$ (SV)) ‰ を示した。また、底魚類の底生性食物生物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、遊泳性生物の値よりも高かった (-16.5% 以上)。



胃内容物の観察結果から、大陸斜面域の底魚群集は主に、マイクロネクトンを介した食物連鎖構造 (Grazing food chain) 上に位置すると考えられる。

底魚類の食物生物について、マイクロネクトンとベントスが CN マップ上で明瞭に識別されたことを反映して、ベントス食者のネズミギンポの値が他のマイクロネクトン食者よりも高くなったと思われる。このように、マイクロネクトンを介した食物連鎖経路 (Grazing food chain) とベントスを介した食物連鎖経路は、CN マップ上で明瞭に区別できると思われる。したがって、魚類の C-N マップ上の配置を調べることで、その魚類がマイクロネクトンを介した食物連鎖経路とベントスを介した食物連鎖経路のいずれに寄与しているの

か、およそ判断することが可能であることが明らかになった。

第IV章 日本海若狭湾の底魚群集と食物連鎖構造

IV-1. 材料と方法

2002年5月に日本海（若狭湾）の水深150-720mの海域で行われた着底トロール調査の魚類採集結果に基づき底魚群集を解析した。また、底魚類の胃内容物と炭素・窒素安定同位体比の測定により、東日本太平洋岸との比較をした。

IV-2. 結果

若狭湾における大陸斜面の底魚類の群集構造

三陸・常磐沖では、漁獲量、種数が多く、均衡性も高いため、多様性が高かったのに対して、若狭湾沖では、漁獲量、種数が少なく、多様性も低かった（図10）。

クラスター分析の結果（図11）、まず、大陸棚縁辺部と大陸斜面域のクラスターがみられ、さらに、優占種の違いにより、大陸棚縁辺部クラスターと、大陸斜面域に出現するアカガレイクラスター、ノロゲンゲ・タナカゲンゲ・ザラビクニクラスター、ノロゲンゲ、ハタハタクラスターが検出されたが、大陸斜面域のクラスターの構成種の多くは、複数のクラスターから出現した。

若狭湾大陸斜面における底魚類の食物連鎖構造

底魚類の胃内容物の観察により、大陸棚縁辺部の優占種はクモヒトデ類やゴカイ類などの底生生物を多く捕食していることが明らかになった。大陸斜面域では、多くの種がホタルイカやニホンウミノミ等の遊泳性生

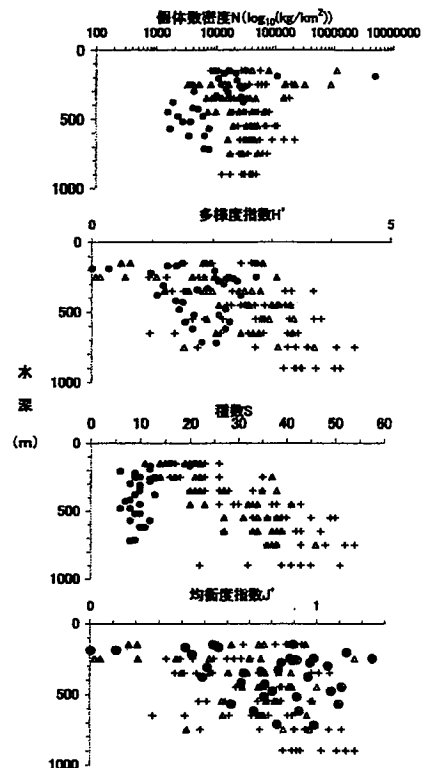


図10 群集の特色を表す指標値の比較
個体数データにより算出した結果である。
●：若狭湾5月、+：三陸・常磐10月、
△：三陸・常磐4月

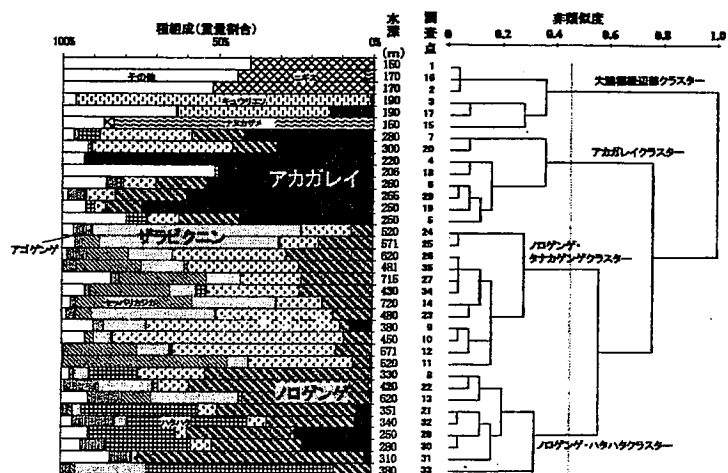


図11 2002年5月、若狭湾の底魚群集における調査点間の種組成の類似度指数C_πを用いたクラスタ分析の結果(右)と各調査点の重量種組成(左)

物を捕食する一方で、底生性生物も高い頻度で捕食していた。底魚類のC-Nマップ上の配置(図12)を三陸・常磐海域と若狭湾の間で比べると、若狭湾の底魚類は三陸・常磐海域のマイクロネクトンを介した食物連鎖上の魚類のC-Nマップ上の分布範囲内ではあっても、炭素安定同位体比の高い方にシフトしていた。**IV-3. 考察**

優占種の違いから4つのクラスターが検出されたが、大陸斜面域の種は複数のクラスターに出現していた。これらのことから、若狭湾沖の底魚群集は、表層と日本海固有冷水の境にあたる水深200m付近を境として大陸棚縁辺部群集と大陸斜面域群集の2つに区分されると考えられる。このように、三陸・常磐でも、若狭湾でも、群集の带状

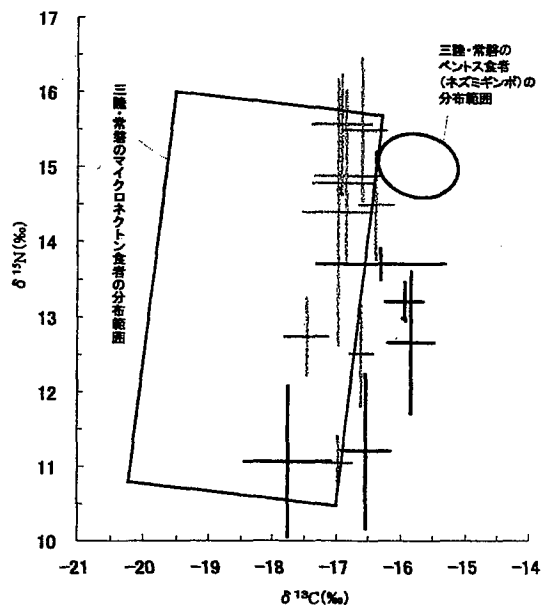


図12 若狭湾の底魚群集における主要種の炭素・窒素安定同位体比 2002年5月~6月(但州丸(499t))
+:大陸棚縁辺部群集の主要種の標準偏差、
+:大陸斜面域群集の主要種の標準偏差

分布構造は、水温の安定性に対応しているものと考えられる。底魚類の胃内容物の観察結果とC-Nマップ上の配置から、若狭湾の底魚類の食物連鎖構造は、三陸・常磐よりもベントスに対する依存の割合が高いことが示された。つまり、マイクロネクトンを介した食物連鎖による物質移送の底魚の生産に対する貢献度は三陸・常磐に比べると若狭湾では低く、若狭湾では底生生物を介した物資移送の貢献度が相対的に大きくなっていると思われる。表層の生産力の低さと、ハダカイワシ類という物質の鉛直移送に関わる重要な漂泳性生物が存在しないということが、この食物連鎖構造の違いに反映されているものと考えられた。

第V章 炭素・窒素安定同位体比を用いた底魚類の食資源利用率の試算

V-1. 材料と方法

2002年10月は、スケトウダラ0+がツノナシオキアミを非常に高い頻度で捕食することに注目して、その両者の炭素・窒素安定同位体比を測定し、その差を調査ラインごとに求め、それらの平均を同位体効果とした。そして、南川(1997)に基づき、2002年10月に採集されたアカガレイについて、その食物生物をツノナシオキアミとホソクシノハクモヒトデとする2資源モデルを仮定して、食資源利用率を試算した。

V-2. 結果

スケトウダラ 0+とツノナシオキアミの炭素・窒素安定同位体比の差は、調査ライン間でやや異なっていたが、その平均値から、炭素は 2.19‰、窒素は 4.50‰という値を摂食による同位体効果とした(表 1)。アカガレイにおけるツノナシオキアミの推定利用率は、炭素も窒素もほぼ 100%を示し、クモヒトデ類はほぼ 0%であった(表 2)。

表 1 2002 年 10 月、スケトウダラ 0+とツノナシオキアミの海域別炭素・窒素安定同位体比の平均とその両者の差

調査ライン	スケトウダラ 0+ (1)			ツノナシオキアミ (2)			両者の差 (= (1)-(2))	
	標本数	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	標本数	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
久慈B	12	-17.80	12.18	6	-19.74	7.46	1.93	4.72
宮古C	12	-18.01	11.89	2	-20.40	7.05	2.39	4.85
大船渡D	12	-17.93	11.93	9	-20.15	7.70	2.22	4.23
金華山E	8	-17.93	12.14	3	-20.78	6.79	2.85	5.34
相馬F	8	-17.61	11.77	6	-19.15	8.39	1.54	3.38
平均							2.19	4.50

表 2 2002 年 10 月、アカガレイの食資源利用率

試算に用いた安定同位体比	捕食者 S アカガレイ	同位体効果 a	食物生物 I (I)		食物生物 II (II)		寄与率 f ₁ f ₂	
			ツノナシオキアミ	-20.05	ホソクシノハクモヒトデ	-15.43	1.01	-0.01
炭素による	11.96	4.50	7.48	9.56	1.01	-0.01		

V-3. 考察

胃内容物の観察では、クモヒトデ類が多く捕食されていることを考慮すると、クモヒトデ類の栄養価がツノナシオキアミにくらべてはるかに低いと考えられる。このように、同位体比により、それぞれの食物生物の底魚類の生産に対する寄与率の算出が可能であることを実証した。

引用文献

- 南川雅男 (1997): 安定同位体による海洋食物網研究. 月刊海洋 安定同位体による海洋生物研究, 29 (7), 391- 398
- Shimizu, Y., Yasuda, I. and Ito, S. (2001): Distribution and circulation of the coastal Oyashio intrusion. *J. Phys. Oceanogr.*, 31, 1561-1578
- Yamamura, O. and Inada, T. (2001): Importance of Micronecton as food of demersal fish assemblages. *Bull. Mar. Sc.*, 68(1), 13-25.

論文審査結果要旨

近年、大陸斜面域を含む深海域における底魚資源や底魚群集の多様性に対する漁業活動の影響が大きな問題として FAO 等の国際機関で議論されるようになってき、深海域底魚群集の生物生産に関する研究の重要性が主張されるようになってきた。この研究では東日本太平洋岸大陸斜面の底魚群集がどのような部分群集により構成されているか、その配置と構造の特色、そしてそれらの食物連鎖構造の特色を海洋環境の時空間的変動、表中層及び底層の生産系との関係で明らかにする事を目的としている。さらに、海洋条件が異なり、東北海区より生産力の低い若狭湾の同様な調査・解析結果と比較・対比させて、海洋条件の違いが底魚の群集構造や食物連鎖構造にどの様に反映されるのかを明らかにしている。

まず、著書は、青森から茨城までの海域に等深度、等緯度間隔に配置した定点での 4 年間に及ぶ着底トロール調査結果に基づき、次のことを明らかにした。東北海域では 200m 以浅の大陸棚、200 ～ 500m の大陸斜面上部、500m 以深の大陸斜面中部の群集が区分され、このような帯状分布構造が季節、年を問わず存在すること、そしてそれが水温の時空間的安定性により示される水温レジームへの底魚類の適応により形成されていること、大陸斜面上部には亜熱帯系群集が秋季に南部海域に季節特異的に出現することを示した。そして、表中層の水温分布と底層での黒潮系水と親潮系水の混合比を用いて海洋構造を三次元的に解析した結果、秋季には表・中層が黒潮系暖水に覆われていても底層は親潮系冷水に覆われるという 2 層構造が形成され、斜面上部亜熱帯系群集の優占種であるテナガダラは、底層に押し込められた生産力の高い亜寒帯系マイクロネクトンを季節特異的に利用していることを明らかにしている。

胃内容物調査と炭素、窒素安定同位対比の解析による食物連鎖構造の解析では、東北海域の大陸斜面域の優占魚種は表層の植物プランクトンに直接繋がるマイクロネクトンを介した食物連鎖上に位置し、斜面中部のマイクロネクトンおよびその捕食魚の食段階が斜面上部よりも 1 段高いこと、マイクロネクトンを介した食物連鎖と底生生物を介した食物連鎖は CN マップ上で明瞭に識別できることを明らかにした。

若狭湾の底魚群集は大陸棚群集と 200 ～ 700m の日本海固有冷水域の大陸斜面群集に区分され、個体数密度、種数、多様度もその様な海洋構造に対応して変化すること、また斜面域の底魚が東北海域と比べ底生生物に依存する割合が高いという特色を有し、それが表層の生産力の低さと鉛直移送を担うマイクロネクトンが安定的に存在しないことに関係していることを明らかにした。

さらに、主要種とツノナシオキアミの間の摂食による同位体効果をフィールドサンプルの解析結果に基づいて計算し、一般則が適用できること、2 資源モデルによる食資源利用率の推定が底魚群集に適用出来ることを示している。

この様に、底魚群集およびその食物連鎖構造の特色をそれぞれの海域の海洋構造の特色との関係で明らかにし、安定同位対比を用いた食物連鎖構造の解析手法の有効性を明らかにしたこの研究は、今後、深海底魚群集の生物生産機構を解明する上での重要な知見を与えるものであり、博士の学位に値するものと判断した。